

Исследование разброса усталостных свойств в обеспечение требуемого уровня надежности при сертификации деталей из композиционных материалов

Д.С. Пальчиков, А.В. Демчишин
ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», Москва

В работе рассмотрены методы учета минимальных свойств материала при сертификации деталей. Опробование приведенных методов выполнено на результатах циклических испытаний образцов из углепластика при растяжении. Сделаны выводы об их преимуществах и недостатках. Оценены разбросы свойств материала по двум критериям разрушения: снижение жесткости (расслоение) и полное разрушение.

Research of scatter in fatigue life for providing the required level of reliability in composite structural certification

D.S. Palchikov, A.V. Demchishin
CIAM, Moscow, Russia

Methods of providing reliability in structural certification are considered. Methods are tested on the results of tension-tension loading mode fatigue data. Conclusions about their advantages and disadvantages have been made. The estimation of material properties have been made for two failure criteria: delamination and full failure.

1. Введение

Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкции авиационного двигателя и воздушного судна требует проверенных процедур сертификации для демонстрации их конструктивной надежности. Одним из аспектов сертификации деталей и агрегатов из ПКМ является демонстрация соответствующей усталостной долговечности, обеспеченной испытаниями и их количественной интерпретацией. Методология сертификации композиционных конструкций в отличие от металлических предполагает учет большей чувствительности к технологическим дефектам, повреждениям и воздействию окружающей среды, учет множества возможных режимов отказа и усталостной долговечности гибридного соединения. В частности, композиционные материалы обладают большим разбросом свойств, что сказывается на требованиях к подтверждению прочностной надежности деталей из них. Например, для рабочей лопатки вентилятора (РЛВ) из ПКМ необходимым требованием является учет минимальных свойств материала при сертификационных испытаниях [1].

2. Основная часть

Цель работы – изучение мирового опыта по использованию методов учета минимальных свойств материала при сертификации деталей, их сравнение и определение границ применимости.

Для учета минимальных свойств материала при

сертификации деталей в общемировой практике используется подход, основанный на увеличении базы усталостных испытаний, где коэффициент увеличения (коэффициент долговечности – N_F) зависит от разброса свойств усталостной долговечности ПКМ (параметр формы (β) распределения Вейбулла (рис. 1). Так, если объект испытания рассчитан исходя из минимальных (худших) свойств материала (точка А), то объект испытания со средними свойствами должен пройти при сертификации базу равную $N_0 \cdot N_F$ (точка В).

Для снижения коэффициента долговечности (снижения продолжительности испытаний) с сохранением того же уровня надежности при испытаниях применяется коэффициент увеличения нагрузки (load enhancement factors – LEF), предложенный Центром развития военно-морской авиации NAVY (Naval Air Develop Center) [2]. Хотя традиционный метод изначально считался инновационной концепцией, он имеет ряд недостатков,

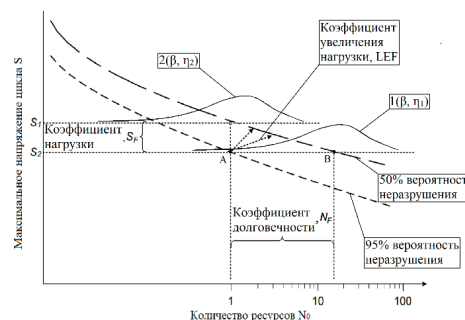


Рис. 1. Концепция учета минимальных свойств

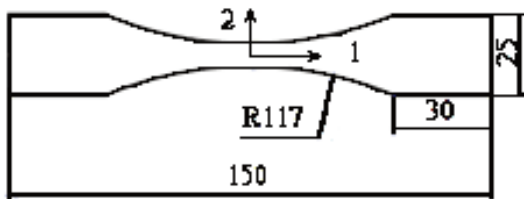


Рис. 2. Эскиз образца из углепластика

ограничивающих его применение, главными из которых являются предположения об одинаковом количестве образцов на каждом уровне нагружения и об одинаковом количестве образцов, достигших разрушения на каждом уровне нагружения.

Такие ограничения в реальных испытаниях являются труднопреодолимыми. Поэтому в работе [3] предложен альтернативный метод, призванный устранить эти ограничения. В формулировке нового метода используют традиционный LEF в качестве основы, но модифицированный объединенный (совместный) анализ Вейбулла. Оба метода исходят из предположения об одинаковом разбросе свойств (одинаковом параметре формы β) на каждом уровне нагружения (см. рис. 1, кривые 1 и 2).

Опробование приведенных методов выполнено на результатах циклических испытаний при растяжении ($R=0,1$) плоских образцов из углепластика. Образцы изготовлены по препреговой технологии и имеют схему армирования $[0; +45; 0; -45]_n$, (рис. 2).

4. Заключение

Выполнен анализ циклической долговечности по приведенным выше методам: метод, предложенный Р. Уайтхедом [2], и метод, предложенный Д. Джанкаспро [3]. Показаны допущения, принятые в данных методах. Сделаны выводы об их преимуществе и недостатках. Оценены разбросы свойств усталостной долговечности по двум критериям разрушения: снижение жесткости (расслоение) и полное разрушение.

Список использованных источников

- [1] Special Conditions: General Electric Company, GE9X Engine Models; Incorporation of Composite Fan Blades : 14 CFR Part 33 : [Docket No. FAA–2017–0171; Special Conditions No. 33–018–SC] / Department of Transportation, Federal Aviation Administration // Federal Register. 2017. Vol. 82, no. 60 (March 30). P. 15611–15612.
- [2] Certification testing methodology for composite structures. Vol. 1. Data analysis / R.S. Whitehead, H.P. Kan, R. Cordero, E.S. Saetheret : Naval air development center report 87042-60 (DOT/FAA/CT-86-39). 1986.
- [3] Giancaspro J., Taam W., Wong R. Modified joint weibull approach to determine load enhancement factors // International journal of fatigue. 2009. Vol. 31. P. 782–790.